

MINERIA

Estudio de concentración del mineral de Estaño de la mina «Santa Elisa» (Zamora)

Por R. ALVAREZ RODRIGUEZ, D. GOMEZ-LIMON, J. GARCIA GARZON y C. RUIZ (*)

RESUMEN

Este estudio muestra que el mineral es fácil de concentrar permitiendo una posible etapa de preconcentración gravimétrica a tamaños inferiores a 8 mm., y que el tamaño de liberación de la casiterita es de 1 mm. Además, hace posible un deslamado fácil y sin pérdidas notables. Un aspecto singular es la relativamente abundante presencia de un mineral oxidado complejo de estaño, hierro y arsénico que aumenta las pérdidas en gravimetría y fundamentalmente en la concentración magnética final.

ABSTRACT

This research shows that the ore has an easy concentration and allows a step of gravity preconcentration in sizes smaller than 8 mm. and the liberation size of the cassiterite is 1 mm. Moreover it's possible to deslime without much wastage. A singular aspect is the abundant presence of a tin, iron and arsenic oxidized complex mineral that increases the gravimetric losses and in the last magnetic concentration mainly.

RESUME

Cette étude montre que le minerai est facilement concentrable permettant une possible étape de préconcentration gravimétrique en grosseurs inférieures a 8 mm. et que la taille de liberation de la casitérite est de 1 mm. De plus il permet enlever les slimes facilement et sans pertes importantes. Un aspect étonnant est la présence relativement abondante d'un minerai oxydé complexe d'étain, fer et arsénic, qui augmente les pertes en gravimetrie et surtout dans la concentration magnétique finale.

1. INTRODUCCION Y CARACTERIZACION DE LA MUESTRA

La mina Santa Elisa se encuentra situada en el término municipal de Arcillera, a pocos kilómetros de Alcañices (Zamora), y en la actualidad está parada. La mineralización estannífera se halla preferentemente en las salbandas de una red de filones y filoncillos de cuarzo que atraviesan las pizarras.

Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación del Instituto Geológico y Minero de España para la mejora de la concentración de minerales de estaño y wolframio.

Tomada una muestra media del mineral reci-

bido, da el análisis expuesto en la tabla 1, y que corresponde a la entrada en tratamiento que tenía la mina, previa eliminación del estéril grueso.

TABLA 1
Análisis de la muestra media

SiO ₂	63,07
Al ₂ O ₃	16,98
TiO ₂	0,63
Fe ₂ O ₃	6,98
MnO	0,26
CaO	0,08
MgO	1,33
Na ₂ O	0,26
K ₂ O	4,56
P ₂ O ₅	0,08
SnO ₂	0,54 (0,42% Sn)
Pérdida de calcinación ...	1,06

También contiene pequeñas cantidades de arsénico, plomo, azufre y cinc. Es de destacar la ausencia de tántalo y niobio, así como de wolframio.

2. ESTUDIO DE LIBERACION DEL ESTAÑO

La muestra se tritura a menos de 10 mm. y las diversas fracciones granulométricas se tratan por dos líquidos densos (para obtener tres productos), que son bromoformo, de densidad 2,82, e ioduro de metileno, de densidad 3,30.

En la tabla 2 se exponen los resultados de la granulometría, con las leyes en estaño obtenidas a partir de los ensayos en líquidos densos.

TABLA 2
Granulometría del triturado a — 10 mm.

Tamaño	% peso	% Sn
+ 8	3,29	n.a.
+ 4	18,54	0,735
+ 2	15,76	0,965
+ 1	8,21	0,750
+ 0,5	5,85	0,585
— 0,5	48,35	0,139

Se observa en esta tabla 2 que las distintas fracciones tienen leyes parecidas, excepto la inferior, en que es bastante más baja, lo que indica una tendencia de la casiterita y otros minerales portadores de estaño a no degradarse en cuanto a tamaño, característica que favorece su concentración.

Los resultados de las separaciones en líquidos densos de las fracciones por encima de 0,5 mm. se exponen en las tablas 3 y 4.

Del examen de estas tablas se deduce que según baja el tamaño disminuye la ley en estaño en la fracción más ligera, así como la distribución de estaño en la misma, indicando una mejor libefación.

La fracción de densidad intermedia baja de ley acusadamente según se disminuye el tamaño, pero su distribución de estaño es casi igual.

La fracción de mayor densidad también dismi-

TABLA 3
Leyes de fracciones densimétricas

Fracción granulométrica (mm.)	Ley % Sn		
	<2,82 g/cm ³	2,82 < d < 3,30	> 3,30 g/cm ³
+ 4	0,08	0,288	36,50
+ 2	0,069	0,218	36,20
+ 1	0,054	0,132	20,47
+ 0,5	0,038	0,088	11,57

TABLA 4
Distribución del Sn en las fracciones densimétricas

Fracción granulométrica (mm.)	Distribución Sn %		
	<2,82 g/cm ³	2,82 < d < 3,30	> 3,30 g/cm ³
+ 4	8,46	8,08	83,46
+ 2	5,59	4,39	90,02
+ 1	4,72	5,48	89,80
+ 0,5	4,02	5,03	90,95

nuye su ley en los tamaños menores, pero aumenta de tal forma su porcentaje en peso, que la distribución o recuperación del estaño sube desde un 83,5 por 100 en la fracción de más de 4 mm. hasta un 90,95 por 100 en la de más de 0,5 mm., indicando que se están liberando al mismo tiempo que los minerales de estaño cantidades mayores de otros minerales pesados como los óxidos de hierro.

Con objeto de determinar la liberación real de los minerales de estaño, se han estudiado con microsonda las fracciones más densas de los tamaños +0,5 mm. y +1 mm.

En la fracción mayor de 1 mm. hay muy pocos granos totalmente o casi totalmente liberados, tales como los que se muestran en la foto número 1, donde se señalan las diferentes partículas con los símbolos químicos de los elementos mayoritarios detectables por el aparato en cada uno de los minerales. La casiterita es el mineral de color más claro, el cuarzo el más oscuro, pero destacando sobre el fondo negro, los silicatos son algo más claros que el cuarzo, y de un gris inter-

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Instituto Geológico y Minero de España.

medio los óxidos de hierro y manganeso. Es interesante hacer notar el grano de la parte inferior derecha que aparece cortado por el borde de la fotografía, ya que contiene un mineral de estaño diferente de la casiterita y sobre el que volveremos más adelante.

La foto número 2 es un caso de partícula mixta muy abundante ya que los mixtos se componen, con gran frecuencia, de casiterita con cuarzo o silicatos.

En la foto número 3 está aislado el grano antes mencionado, que es un mixto de casiterita, cuarzo, óxido de hierro (marcado como Fe) y el citado mineral (¿Varlamoffita?), que, por cierto, es bastante abundante en el total de la muestra. En la foto número 4 se presenta la imagen de rayos X del estaño, en la foto número 5 la imagen de rayos X del hierro y en la número 6 la de silicio, que hacen muy fácil la identificación de todos los minerales componentes y su distribución exacta. Este mineral complejo presenta un aspecto algo oqueroso o poroso (3).

La fotografía número 7 presenta dos imágenes, la mitad inferior es de otra partícula del citado mineral y en la mitad superior se presenta la zona del recuadro ampliada, donde se aprecia en el centro una zona de casiterita sin hierro.

En el caso de la fracción de más de 0,5 mm. el porcentaje de granos liberados es grande, aunque hay todavía bastantes granos mixtos como se aprecia en las foto 8 y 9, en que las zonas pequeñas más blancas son casiterita, aunque no están marcadas. En la foto número 9 se observa también otro grano del mineral de estaño y hierro. Los mixtos suelen tener cuarzo, aunque también los hay con óxidos de hierro.

En la foto número 10 se presenta otro grano típico del mineral complejo de estaño proveniente de la fracción magnética del concentrado denso de +0,125 mm.

El mencionado mineral complejo de estaño que podría caer dentro de la ambigua denominación de varlamoffita, está siendo estudiado más profundamente con objeto de determinar mejor sus características ópticas y químicas. Estas últimas parecen ser algo variables, aunque siempre contiene fundamentalmente estaño, hierro y arsénico, y a veces aparecen pequeñas cantidades de otros elementos. Un espectrograma de



Foto 1

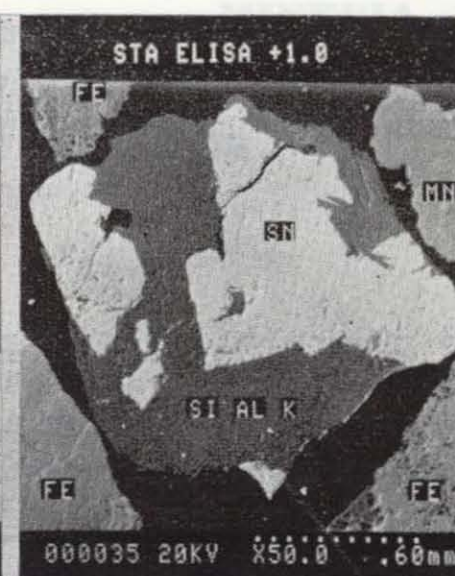


Foto 2



Foto 3

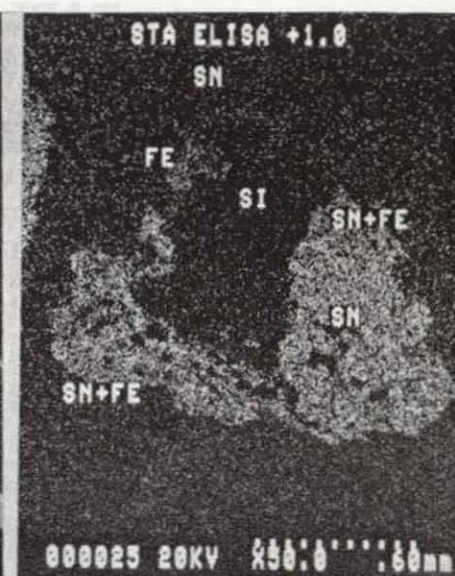


Foto 4



Foto 5

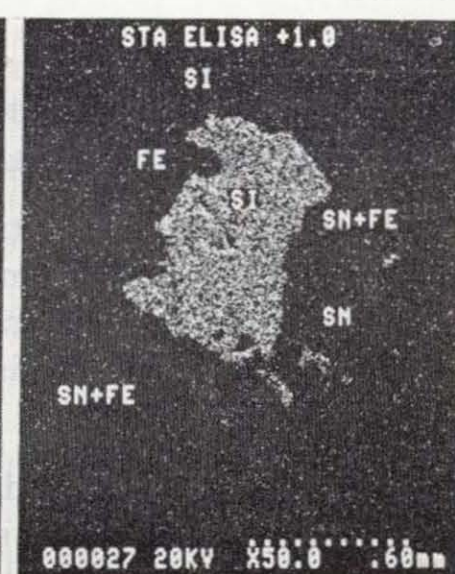


Foto 6

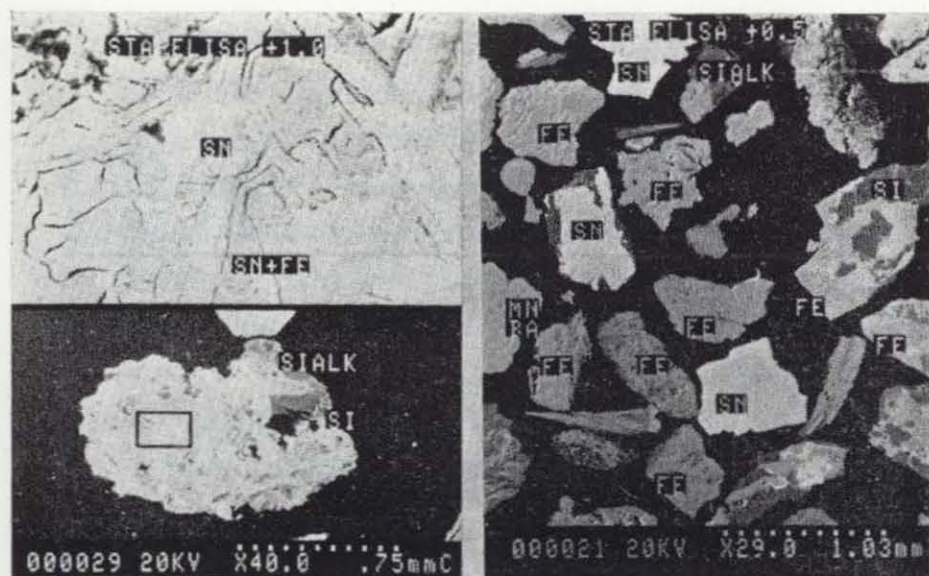


Foto 7

Foto 8



Foto 9

Foto 10

dispersión de energías típico es el mostrado en la figura número 1, donde las identificaciones totalmente seguras son las de Sn, Fe y As, este último comprobado por ampliación de los KeV de la escala y aumento del voltaje, con lo que aparecen claramente las líneas $K\alpha$ y $K\beta$ del As.

La composición de una de sus zonas, realizada sin patrones, arroja el siguiente resultado aproximado: SnO_2 , 63 por 100; As_2O_3 , 17 por 100; Fe_2O_3 , 11 por 100, siendo el resto de otros elementos.

3. CONCENTRACION GRAVIMETRICA

A la vista de los resultados del estudio de liberación se podría pensar en una preconcentración

gravimétrica de los tamaños mayores de 1 mm. para, luego, remolerlos y volverlos a tratar. Esto no presenta ninguna dificultad y en principio era el sistema adoptado en la mina.

Para este estudio se ha preferido moler el conjunto por debajo de 1 mm., con lo que se está en condiciones más desfavorables para pérdidas en lamas.

La molienda se ha realizado con molino de rodillos lisos y posteriormente se ha procedido a su fraccionamiento granulométrico para estudiar la distribución del estaño. Esta granulometría se ha realizado en seco para los gruesos, en húmedo para los finos y en cyclosizer por debajo de 37 micrómetros.

Los resultados están expuestos en la tabla 5.

TABLA 5
Granulometría del material molido a — 1 mm.

Fracción (mm.)	% peso	Ley p.p.m. Sn	% distri- bución Sn
+ 0,5	29,53	6.817	42,67
+ 0,25	16,63	6.563	23,14
+ 0,125	14,20	5.511	16,59
+ 0,062	7,61	4.931	7,96
+ 0,037	3,78	2.616	2,09
+ 0,023	3,49	4.061	3,40
+ 0,016	5,66	954	1,30
+ 0,012	4,42	658	0,70
— 0,012	14,68	608	2,15

En esta tabla 5 es de destacar el decrecimiento continuo de la ley en estaño al bajar la granulometría, excepto en la fracción +0,023 mm., explicable porque ese corte se ha realizado ya por ciclonado y la casiterita es mucho más densa, y, asimismo, el decrecimiento en la distribución de estaño en comparación con el peso, lo que indica una importante resistencia de este material a producir ultrafinos y sobre todo de casiterita. Así, un corte a 37 micrómetros daría recuperación de más del 92,45 por 100, ya que este corte ha sido realizado en el laboratorio por tamizado y al pasar a ciclones se recuperaría parte de la casiterita de tamaños inferiores por su mucha más elevada densidad. También se deduce que una alteración en el punto de corte afecta poco a la recuperación a obtener.

23 May 1988

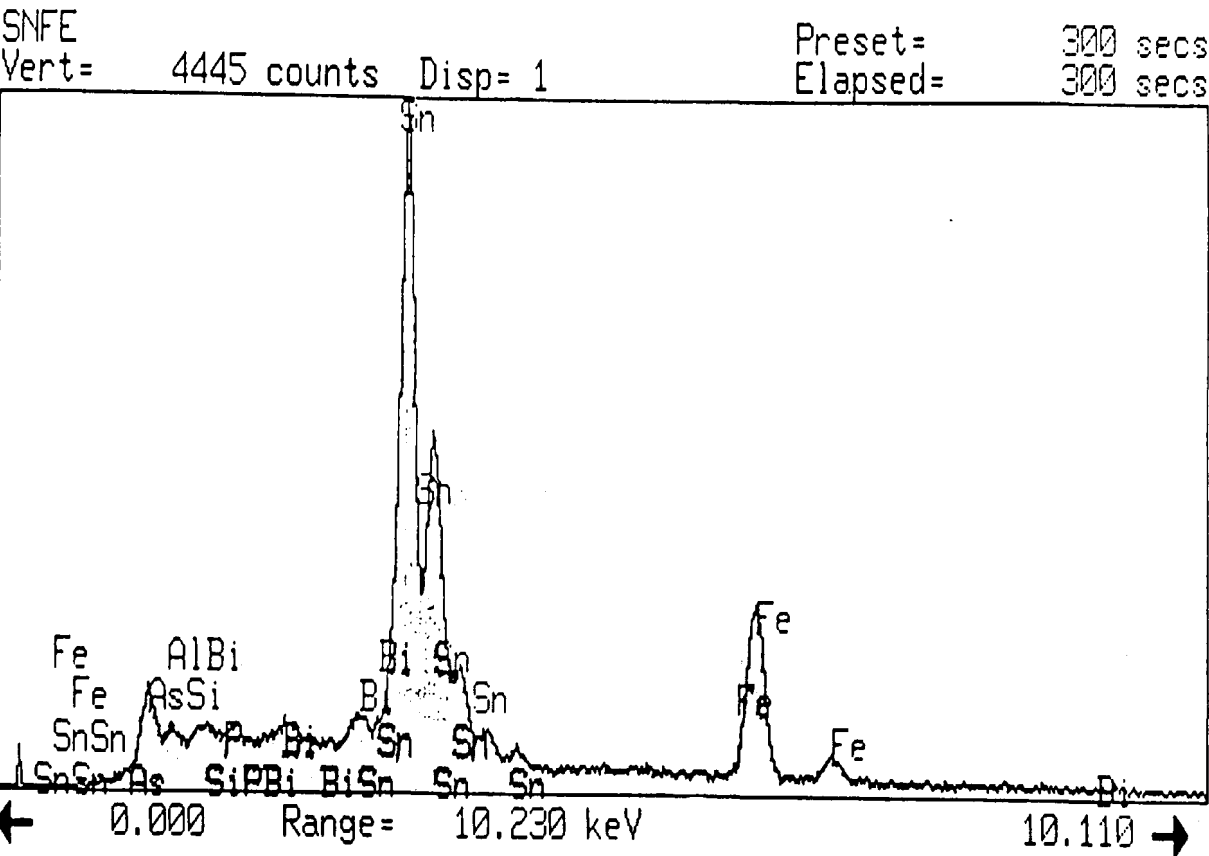


Figura 1

Los ensayos de concentración han sido efectuados utilizando una mesa de sacudidas tipo Wilfley y tratando las fracciones +0,125, +0,25 y +0,5 mm. separadamente para tener una aproximación al caso industrial de un hidroclasificador, aunque este fraccionamiento por tamizado no sea tan conveniente o adecuado como el hidráulico.

La concentración se ha realizado mediante un desbaste y un relavado posterior, obteniéndose tres productos: Concentrado, mixtos y estéril. Los resultados comparativos entre las tres fracciones granulométricas están expuestos en las tablas 6 y 7 para los estériles y concentrados, respectivamente.

De la tabla 6 se deduce que se puede eliminar el 90 por 100 aproximadamente del peso del material en un primer desbaste en mesas, con pérdi-

TABLA 6 Características de los estériles de mesa			
Fracción granulométrica mm.	Peso %	Ley p.p.m. Sn	Pérdidas % Sn
+ 0,5	88,93	875	11,42
+ 0,25	90,20	799	10,99
+ 0,125	91,23	1.127	18,87

TABLA 7 Características de los concentrados de mesa (1 relavado)			
granulométrica mm. Fracción	% Peso	Ley % Sn	Recuperación % Sn
+ 0,5	1,64	34,34	82,57
+ 0,25	3,41	16,54	85,92
+ 0,125	2,89	14,89	78,08

das de entre el 10 y 19 por 100, dependiendo de las leyes de partida, y que quedan los estériles con leyes de aproximadamente 1.000 p.p.m. en Sn. Un estudio de los estériles al microscopio ha permitido determinar que la mayoría de la casiterita perdida está en forma de mixtos con cuarzo en los cuales el cuarzo es predominante, y algunos mixtos de óxidos de hierro o cuarzo con el mineral complejo de estaño y hierro, que es de menor densidad que la casiterita. La fracción +0,5 mm., que en la granulometría gruesa se trató con líquidos densos, da una ley y pérdidas aproximadas, como se deduce de las tablas 3 y 4.

La tabla 7 muestra que se pueden alcanzar leyes elevadas con un solo relavado, siendo mayores en la fracción de +0,5 mm., dado que es más fácil de lavar por su tamaño y el tipo de mesa utilizado y donde la ley y recuperación se acercan a las teóricas de líquidos densos expuestas en las tablas 3 y 4. En los tamaños inferiores existen algunos granos de silicatos y cuarzo en el concentrado eliminables con más relavados.

En estas operaciones los mixtos han quedado con una ley de 3.200 a 4.300 p.p.m de Sn, lo que las hace aptas para recircular con la alimentación inicial, ya que tienen leyes parecidas y portan entre un 3 y un 6 por 100 del estaño de los respectivos tramos granulométricos.

Con la utilización de hidrocalcificadores estos resultados mejorarían y harían más fácil la separación entre zonas por su tendencia a unir granos gruesos ligeros de cuarzo o silicatos con finos pesados de casiterita, que es la combinación que mejor se separa en mesa.

Por otro lado, en los finos hay mayor presencia de óxidos de hierro liberados que han ido al concentrado bajando su ley, como se comprueba tratando en bromoformo los concentrados de mesa y analizando los productos.

Estos resultados están expuestos en la tabla 8.

Las recuperaciones son prácticamente idénticas a las de los concentrados de partida y las leyes son menores en los tamaños finos, aunque han subido una media de 6 puntos, lo que demuestra la facilidad de aumentar leyes con más relavados sin pérdidas notables de recuperación. En el concentrado de +0,125 mm. se ha realizado una separación en yoduro de metileno que ha

TABLA 8 Hundidos en bromoformo de los concentrados de mesa			
Fracción granulométrica mm.	Peso %	Ley % Sn	Recuperación % Sn
+ 0,5	1,37	41,07	82,53
+ 0,25	2,62	23,78	85,86
+ 0,125	2,13	20,19	78,01

hecho que el denso llegue a una ley de 27,80 por 100, manteniendo una recuperación del 77,68 por 100, sensiblemente igual a la del concentrado de mesa, que era del 78,08 por 100 y que tenía una ley del 14,89 por 100 en Sn.

El pasar a leyes más altas conlleva más pérdidas, pues el estudio del concentrado de las fracciones +0,5 y +0,125 mm. muestra que en ellas existen mixtos de óxidos de hierro y manganeso con casiterita y también algunos de casiterita con cuarzo, además de los granos del mineral complejo de estaño, hierro y arsénico, que son de menor densidad que la casiterita y sus muy abundantes mixtos, con óxido de hierro sobre todo.

Ensayos de separación magnética muestran que se pueden alcanzar, por ejemplo, en la fracción de +0,125 mm. leyes en estaño en el concentrado no magnético del orden del 55 por 100 en Sn, pero con leyes en la fracción magnética del 3,4 por 100 en Sn, que representa una pérdida de unos 7 puntos en la recuperación sobre el estaño contenido en el concentrado de 27,80 por 100 de ley.

Estudiadas en la microsonda las muestras magnéticas se observa en ellas una cantidad abundante del mineral complejo en sus términos más ricos en hierro, bien como granos aislados o formando mixtos, fundamentalmente con otros óxidos de hierro y manganeso, que son la causa de las pérdidas.

Con estos datos se puede decir que las recuperaciones industriales estarían en un promedio del 72 por 100 del estaño en la alimentación a mesas en esas fracciones.

Las fracciones entre 0,125 mm. y los 40 micrómetros (ya que como se ha mencionado antes éste podría ser un deslamado muy aceptable), se

podrían concentrar en mesas de finos que tendrían una recuperación inferior a la mencionada, pero que tampoco sería importante, ya que en esta fracción sólo iría el 10 por 100 del estaño total de la mena, según se deduce de la tabla 5.

4. CONCLUSIONES

- 1.ª) El mineral estudiado presenta un enriquecimiento en estaño en las fracciones gruesas y un empobrecimiento muy notable en las lamas.
- 2.ª) El tamaño de liberación entre la casiterita y los otros minerales es de un milímetro.
- 3.ª) Existe una liberación parcial que puede permitir buenas preconcentraciones entre 0,5 y 8 mm.
- 4.ª) Existe un mineral portador de estaño diferente de la casiterita, del tipo varlamofita con estaño, hierro y arsénico como componentes principales y relativamente abundante.
- 5.ª) La presencia del citado mineral contribuye a aumentar las pérdidas en gravimetría y a originar una caída de unos 6 puntos de recuperación en la separación magnética.

6.ª) La molienda total al tamaño de liberación de 1 mm. da un producto que permite un deslamado a unos 40 $\mu\text{m.}$, con pérdidas de menos del 7-8 por 100 del estaño contenido.

7.ª) La concentración en mesas del producto deslamado, previo fraccionamiento hidráulico, se presenta sencillo y su tratamiento magnético posterior permite alcanzar concentrados con alta ley y con recuperaciones del orden del 70 por 100 sobre el estaño contenido en la alimentación deslamada y recuperación del 65 por 100 aproximadamente sobre el total de la mena.

8.ª) Entre las pérdidas en la recuperación destaca la debida a la separación magnética por la presencia del citado mineral complejo de estaño y que puede representar una disminución de 6 ó 7 puntos.

B I B L I O G R A F I A

1. BURT, R. O. (1984): *Gravity Concentration Technology*. E. Elsevier. Amsterdam.
2. APLAN, F. F. (1985): *Tin*; in *SME Mineral Processing Handbook*, 27-10 a 27-14. Society of Mining Engineers, New York.
3. VARLAMOFF, N. (1948): *Ann. (Bull.) Soc. Geol. Belgique*, 72, B41-B46.

Recibido: Julio de 1988.